

文章编号:0559-9350(2014)07-0785-08

## 水资源与经济社会和谐平衡研究

左其亭, 赵 衡, 马军霞

(郑州大学 水科学研究中心, 河南 郑州 450001)

**摘要:** 水资源是支撑经济社会可持续发展的重要基础, 经济社会是保护水资源的重要主体。二者相辅相成, 应保持和谐关系。但二者在很多情况下又存在矛盾, 如何实现二者之间的一种“平衡”, 是一个难点问题。本文从和谐论的观点出发, 阐述寻找经济社会发展与水资源保护之间“平衡”的重要意义; 并在此基础上, 阐述和谐平衡的概念及内涵, 把和谐平衡定义为“利益相关者考虑各自利益和总体和谐目标而呈现的一种相对静止且相关者各方暂时都能接受的平衡状态”; 构建了寻找和谐平衡的一般方法步骤, 提出了基于和谐论的和谐平衡计算方法; 最后将建立的和谐平衡模型应用于河南省, 确定了实现河南省水资源与经济社会和谐平衡的条件。

**关键词:** 和谐平衡; 和谐论; 经济社会发展; 水资源保护

**中图分类号:** TV213

**文献标识码:** A

**doi:** 10.13243/j.cnki.slxb.2014.07.004

## 1 研究背景

自然界可循环利用的水资源量是有限的, 随着人类社会的发展进步, 不同部门之间、不同地区之间、上下游之间、人类生产生活用水与生态用水之间为争有限水资源而产生矛盾, 水资源危机日益突出<sup>[1]</sup>, 需要寻找一种平衡, 使得水资源开发利用程度达到某一适合水平, 以水资源的可持续利用支撑经济社会的可持续发展。同时, 经济社会发展在通过消耗资源和排放废物污染破坏水资源系统降低水资源承载能力的同时, 又通过环境治理和水利投资等手段提高其承载能力, 经济社会发展需要达到一个与水资源禀赋相适应的水平。并且, 在经济-社会-水资源-生态复合大系统中, 任意一个子系统出现问题都会危及到其他子系统, 而且问题会通过反馈作用加以放大和扩展, 最终导致整个大系统的衰退, 因此实现水的社会小循环与自然大循环相辅相成、协调发展, 维系良好的水环境, 最终达到天人合一的境界, 也需要寻找一种平衡状态。综上所述, 实现经济社会发展与水资源保护二者之间的平衡, 即在发展和保护之间实现平衡<sup>[2]</sup>, 在生产、生活用水与生态用水之间实现平衡<sup>[3]</sup>具有重要的意义, 是实现经济社会可持续发展、保障水资源可持续利用的重要基础, 也为人们制定以市场为导向的环境政策提供方向<sup>[4]</sup>。

实际上, 水资源工作的主要内容是通过多种多样的手段和方式, 谋求经济社会发展需水与水资源保护之间的平衡, 解决水资源供需矛盾。对此, 可以从水资源供需平衡的角度出发进行分析<sup>[5]</sup>; 可以通过水资源优化配置的方式解决<sup>[6]</sup>; 可以建立水资源与经济社会的协调发展模型<sup>[7]</sup>或者环境经济优化模型<sup>[8]</sup>; 也可以建立资源保护与发展之间的折中计算模型<sup>[9]</sup>来实现。

本文提出和谐平衡的概念, 并解读其内涵, 构建寻找和谐平衡的一般方法步骤, 给出基于和谐论的和谐平衡计算方法, 并实际应用于河南省水资源与经济社会和谐平衡状态分析中。

收稿日期: 2014-02-22; 网络出版日期: 2014-04-24

网络出版地址: <http://www.cnki.net/kcms/detail/11.1882.TV.20140424.1458.017.html>

基金项目: 国家自然科学基金资助项目(51279183); 国家社科基金重大项目(12&ZD215); 河南省科技攻关计划项目(132102310528);

河南省高校科技创新团队支持计划项目(13IRTSTHN030)

作者简介: 左其亭(1967-), 男, 河南固始人, 博士, 教授, 主要从事水文学及水资源研究。E-mail: zuoqt@zzu.edu.cn

## 2 和谐平衡的概念及内涵

左其亭在《和谐论：理论·方法·应用》<sup>[10]</sup>一书中给出了和谐的定义和解释。可以认为，和谐是指和谐参与者在考虑相关和谐因素，满足一定和谐目标情况下，按照和谐规则，达到的一种和谐行为。为了达到和谐目标及和谐状态，利益相关者常常需要按照一定规则，约束行为，维持一种相对平衡状态。这就是和谐平衡。人类在不断取用水资源的同时，还不停地向水资源环境中排放废水，人们必须要遵循水的自然循环规律，在水资源的自净能力范围内进行这种交换，才是安全、有效和合理的，如果水资源的使用量和废水的排放量超过了某个阈值，就破坏了人与水环境之间的平衡状态，将会导致严重的后果，并危及人类自身的安全。也就是说水的社会循环不能损害水的自然循环规律，才能实现水资源可持续利用。实际上，就是要求水资源利用与保护达到一种和谐平衡。因此，根据和谐论理念和以上分析，可以把和谐平衡(harmony equilibrium)简单定义为：利益相关者考虑各自利益和总体和谐目标而呈现的一种相对静止且相关者各方暂时都能接受的平衡状态。

在经济学中，平衡意即相关量处于稳定值。比如经济学中商品“供求关系”，假如某一商品市场如果在某一价格下，想以此价格买此商品的人均能买到，而想卖的人均能卖出，此时就可以认为，该商品的供求关系达到了平衡状态。这就是针对某一时段相对静止的和谐平衡。如果该商品的生产成本增加，卖方再以此价格卖出就会亏本或盈利太少，必然会抬高价格，这时原来的平衡状态被打破，新的价格慢慢被买卖双方接受，于是又转移到另一平衡状态。

在看待经济社会发展与水资源保护之间关系时，可以认为，这种平衡状态是某一时段人类发展追求的目标，不仅能够实现经济社会的预期发展，还能保护人类赖以生存的水资源。当然，这种平衡状态不是一成不变的，随着社会的进步，技术的改良，各种调水、储水设施的建设，改变了水资源的可利用量、废水的排放量以及循环量，都会造成和谐平衡从一种状态转移到另一种状态。因此，这里所说的和谐平衡是某一时段、某种特定条件下的平衡。

根据以上分析和对和谐平衡的理解，可以总结以下内涵和主要理论观点：(1)和谐平衡是满足和谐目标要求的和谐行为的集合，该集合中的所有行为都是满足和谐的要求。和谐平衡的集合可能是一个点、一个直线、一个区间或一个更加复杂的集合。(2)在某一阶段或某一状态下，可能还没有形成和谐平衡。也就是说，和谐平衡并不是始终都存在的。(3)和谐平衡是一种相对静止的和谐状态，在条件变化的情况下，可能会从一种和谐平衡转移到另一种和谐平衡。(4)正确看待和谐平衡的转移，既要理解和谐平衡转移是正常的，也要关注和谐平衡转移带来的优点和缺点。比如，一种社会关系，如果通过先进人士的努力，朝着更加先进的社会转移，这种转移是人们追求的目标，是值得肯定的；如果通过社会动荡和不良措施，使原本和谐的社会转移到动荡的社会，这是不可取的。(5)和谐平衡具有一般和谐概念的特性。和谐平衡不是一成不变的，具有动态性；是针对某一区域或特定对象而言的，具有空间性；一般具有复杂的包含和被包含关系，即具有层次性。

## 3 和谐平衡计算方法

**3.1 和谐平衡的一般表达式** 根据前文对和谐平衡概念介绍和内涵解读，可以把和谐平衡表达为如下基于和谐度计算的集合形式：

$$\{\text{和谐行为} A \mid HD \geq HD_0\} \quad (1)$$

或

$$\{\text{和谐行为} A \mid HD \in [HD_-, HD^+]\} \quad (2)$$

式中： $HD_0$ 为某一设定的、认为是和谐平衡的最小和谐度值； $HD_-$ ， $HD^+$ 分别为认为和谐平衡状态相

对静止的和谐度值下限和上限。

最优和谐平衡可以表达如下：

$$\left\{ \text{和谐行为} A \mid HD = HD_{\max} \right\}$$

(3)

式中， $HD_{\max}$  为和谐度最大值。

针对某一具体问题，如果式(1)中  $HD_0$  过大或  $HD$  本身就小，就达不到和谐平衡。如果降低  $HD_0$  值，达到的和谐平衡是较低和谐度的平衡状态。尽管如此，这也是一种和谐平衡状态，只是在这种背景和条件下和谐度值较小的和谐平衡。

**3.2 水资源与经济社会和谐平衡计算模型** 根据和谐平衡的定义，引入参数需水满足程度来表征利益相关者各自的利益，并将此作为模型的限制条件，即各用户需水满足程度=用水量/预测需水量。利益相关者可以理解为各个用水户，具体可分为生活用水、工业用水、农业用水和生态用水。而水资源与经济社会总体和谐目标，采用总体和谐度达到特定数值来表征。基于和谐平衡的第(1)种表达形式，和谐平衡计算模型可采用类似一般优化模型的形式，如下：

$$Z = HD(X) \geq HD_0; G(X) \leq 0; X \geq 0$$

(4)

式中： $X$  为决策向量； $HD(X)$  为水资源与经济社会的和谐度； $HD_0$  为和谐度目标阈值； $G(X)$  为约束条件集。

在和谐平衡计算模型式(4)中，关键问题有两方面：(1)关于和谐度  $HD(X)$  的计算，目前已有相关的计算方法，比如，作者在文献[11，13]中介绍的人水和谐度计算方法；(2)关于约束条件的选择和定量化，可以引用水资源优化配置中关于约束条件的选择和量化方程。为了本文实例应用的需要，下文将针对一般区域水资源与经济社会和谐平衡计算，基于文献[11，13]的前期成果，介绍一种简单方法，仅作参考。

**3.2.1 水资源与经济社会和谐度计算指标体系构建** 根据系统性、代表性和可操作性原则，分目标层、准则层和指标层3个层次建立水资源与经济社会和谐度计算指标体系，如表1(仅针对本文实例，可供其他地区参考)。目标层是水资源与经济社会和谐度。准则层是指从取水、用水和排水3个方面进行评价。在指标层中，则采用具体的指标对准则层进行详细描述。

表1 水资源与经济社会和谐度评价指标体系

| 目标层                | 准则层        | 指标层                                  | 含义          |
|--------------------|------------|--------------------------------------|-------------|
| 水资源与经济社会和谐度<br>(A) | 取水<br>(B1) | 生活需水满足程度(B11)/%                      | 反映农业取水情况    |
|                    |            | 工业需水满足程度(B12)/%                      | 反映工业取水情况    |
|                    |            | 农业需水满足程度(B13)/%                      | 反映生活取水情况    |
|                    |            | 生态需水满足程度(B14)/%                      | 反映生态取水情况    |
|                    |            | 地表水控制利用率(B15)/%                      | 反映地表水开发利用程度 |
|                    |            | 平原区浅层地下水开采率(B16)/%                   | 反映地下水开发利用程度 |
|                    | 用水<br>(B2) | 万元GDP用水量(B21)/(m <sup>3</sup> /万元)   | 反映综合用水效率    |
|                    |            | 万元工业增加值用水量(B22)/(m <sup>3</sup> /万元) | 反映工业用水效率    |
|                    |            | 工业用水重复利用率(B23)/%                     | 反映工业用水效率    |
|                    |            | 亩均灌溉用水量(B24)/(m <sup>3</sup> /亩)     | 反映农业用水效率    |
|                    | 排水<br>(B3) | 城市污水处理率(B31)/%                       | 反映污染物排放情况   |
|                    |            | 工业废水达标排放率(B32)/%                     |             |
|                    |            | 评价河长达标率(B33)/%                       |             |

**3.2.2 和谐度  $HD(X)$  的计算** 可以采用单指标量化-多指标集成的评价方法(SI-MI)<sup>[10]</sup>。单指标量化采用分段模糊隶属度分析法，通过分段函数<sup>[11]</sup>，将各指标统一映射到[0，1]上。分段函数分为5段，对应各个指标的5个特征值，最差值(a)、较差值(b)、及格值(c)、较优值(d)和最优值(e)，对应的

和谐度分别为0、0.3、0.6、0.8和1。有关代表性数值的确定，可以按照目前行业公认的标准、国际和国内组织的研究报告、国家或地区指定的发展规划、国内的平均水平及最优最差水平、发达国家所处水平以及人们对各个指标的期望值来确定<sup>[12]</sup>。

根据指标与和谐度的关系，将其分为正向指标和逆向指标，对应的分段函数如图1所示。其中，正向指标是指子和谐度随指标值的增加而增加的指标，逆向指标是指子和谐度随指标值的增加而减少的指标。

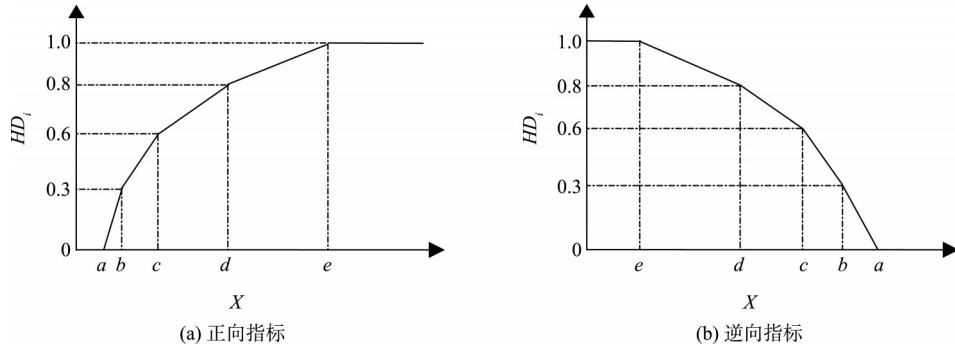


图1 单指标和谐度变化曲线

正向指标和逆向指标的子和谐度计算公式分别如下：

$$HD_i = \begin{cases} 0 & x_i \leq a_i \\ 0.3 \left( \frac{x_i - a_i}{b_i - a_i} \right) & a_i < x_i \leq b_i \\ 0.3 + 0.3 \left( \frac{x_i - b_i}{c_i - b_i} \right) & b_i < x_i \leq c_i \\ 0.6 + 0.2 \left( \frac{x_i - c_i}{d_i - c_i} \right) & c_i < x_i \leq d_i \\ 0.8 + 0.2 \left( \frac{x_i - d_i}{e_i - d_i} \right) & d_i < x_i \leq e_i \\ 1 & e_i < x_i \end{cases}; HD_i = \begin{cases} 1 & x_i \leq e_i \\ 0.8 + 0.2 \left( \frac{d_i - x_i}{d_i - e_i} \right) & e_i < x_i \leq d_i \\ 0.6 + 0.2 \left( \frac{c_i - x_i}{c_i - d_i} \right) & d_i < x_i \leq c_i \\ 0.3 + 0.3 \left( \frac{b_i - x_i}{b_i - c_i} \right) & c_i < x_i \leq b_i \\ 0.3 \left( \frac{a_i - x_i}{a_i - b_i} \right) & b_i < x_i \leq a_i \\ 0 & a_i < x_i \end{cases} \quad (5)$$

式中：多指标集成是根据单一指标和谐度按照权重加权计算，即  $HD = \sum_{i=1}^n w_i HD_i$ ， $HD$  为水资源与经济社会和谐度； $HD_i$  为第  $i$  个指标的子和谐度； $n$  为评价指标的个数； $w_i$  为第  $i$  个指标的权重。

3.2.3 约束条件 约束条件包括以下几方面。

(1) 利益相关者需水满足程度约束：

$$\eta_i \geq \eta_{i0} \quad (6)$$

式中： $i=1, 2, 3, 4$ ，分别为农业用水、工业用水、生活用水以及生态需水； $\eta_i$  为各个参与者的需水满足程度， $\eta_{i0}$  为参与者的需水满足程度限值。

(2) 可利用水量约束：经济社会发展可利用的总水量应低于最大可利用量。

$$W_s \leq \max G_s + \max W_G \quad (7)$$

式中： $\max G_s$  为地表水最大可利用量； $\max W_G$  为地下水最大可利用量。

(3) 生态环境用水量约束：生态环境用水量要保证绿洲、湿地、河流等生态环境的最低用水量。

$$W_e \leq \min W_{eco} \quad (8)$$

(4) 排污量约束：污水中重要污染物的入河总量不超过河流所在水功能区的纳污能力。

$$S_I + S_D \leq S_{RN} \quad (9)$$

式中： $S_I$ 、 $S_D$  分别为工业污水和生活污水中重要污染物的排放量； $S_{RN}$  为河流所在水功能区的纳污能力。

(5)其它约束：针对具体情况，还需要增加诸如技术条件、用水效率、非负约束等。

**3.3 和谐平衡计算及调控** 根据和谐平衡计算式(1)或式(2)计算的和谐平衡，以及计算式(3)计算的最优和谐平衡，有可能是和谐度较低的一种平衡状态。当然，它也是一种平衡状态，只不过是一种处于较低和谐度水平的平衡。同样，在计算式(4)中，如果确定的约束条件过于苛刻或和谐度要求太高，有可能得不到结果；如果降低和谐度值、放松约束条件，计算的结果就有可能是和谐度较低的一种平衡状态。当然，为了提高和谐度值，可以通过一些调控措施，提高和谐度，达到和谐平衡方程的要求。这就是和谐调控<sup>[9]</sup>。关于和谐调控的计算方法，可以归纳为两种<sup>[9]</sup>：一种方法是采用和谐行为集优选方法，另一种是基于和谐平衡优化模型，确定和谐平衡的最小范围。

## 4 应用举例

**4.1 河南省概况** 河南省位于我国中东部，全省总面积 16.55 万 km<sup>2</sup>，约占全国总面积的 1.74 %。河南省地处暖温带和北亚热带地区，气候具有明显的过渡性特征，且受季风气候影响，南北气候差异较大，降水量南部和东南部多，北部和西北部少，气候的地区差异性比较明显。年降水量的时空分布不均，全年的降水量主要集中在夏季，约占全年降水量的 45 %~60 %，降水的不稳定性极易引起旱涝灾害。近年来，随着河南省经济社会的快速发展，与水资源利用之间的矛盾日益突出，水资源短缺、水环境恶化、生态退化等问题成为河南省经济社会发展的制约性因素。

**4.2 河南省近年水资源与经济社会和谐平衡计算** 根据前文中建立的指标体系，对河南省近几年水资源与经济社会和谐度进行计算，相关指标数据来自《河南省水资源公报》和《河南省统计年鉴》。评价指标节点值的最优值是根据全国最优水平加一定比例确定或者根据人们的期望值确定，及格值是根据河南省多年的平均值确定，最差值是根据河南省多年的最差值减一定比例确定，较差值和较优值是插值进行确定，见表 2。单指标的子和谐度采用分段隶属度函数进行计算，根据层次分析法确定初始权重，并经一致性检验，满足一致性要求。然后利用变权法计算出各个变量的最终权重，计算结果见表 3。最后采用多指标综合的方法，得到河南省近年水资源与经济社会的总体和谐度  $HD(X)$ 。

表 2 评价指标节点值及指标方向

| 指标层                                  | 最差值 $a$ | 较差值 $b$ | 及格值 $c$ | 较优值 $d$ | 最优值 $e$ | 指标方向 |
|--------------------------------------|---------|---------|---------|---------|---------|------|
| 生活需水满足程度(B11)/%                      | 30      | 45      | 60      | 80      | 100     | 正向   |
| 工业需水满足程度(B12)/%                      | 30      | 45      | 60      | 80      | 100     | 正向   |
| 农业需水满足程度(B13)/%                      | 30      | 45      | 60      | 80      | 100     | 正向   |
| 生态需水满足程度(B14)/%                      | 10      | 40      | 60      | 80      | 100     | 正向   |
| 地表水控制利用率(B15)/%                      | 5       | 10      | 20      | 40      | 60      | 正向   |
| 平原区浅层地下水开采率(B16)/%                   | 90      | 75      | 60      | 30      | 0       | 逆向   |
| 万元 GDP 用水量(B21)/(m <sup>3</sup> /万元) | 450     | 340     | 230     | 130     | 30      | 逆向   |
| 万元工业增加值用水量(B22)/(m <sup>3</sup> /万元) | 250     | 180     | 110     | 60      | 20      | 逆向   |
| 工业用水重复利用率(B23)/%                     | 60      | 70      | 80      | 90      | 95      | 正向   |
| 亩均灌溉用水量(B24)/(m <sup>3</sup> /亩)     | 300     | 250     | 200     | 160     | 120     | 逆向   |
| 城市污水处理率(B31)/%                       | 10      | 30      | 50      | 80      | 100     | 正向   |
| 工业废水达标排放率(B32)/%                     | 60      | 75      | 90      | 95      | 100     | 正向   |
| 评价河长达标率(B33)/%                       | 10      | 25      | 40      | 70      | 100     | 正向   |

经过加权计算，得出 2005、2008、2011 年河南省水资源与经济社会和谐度分别为 0.58、0.66 和 0.69，和谐度值基本接近并略有增加。可以认为，河南省最近几年的和谐平衡状态处于中等水平，和谐度介于 0.58~0.69 之间。从表 3 的计算结果中可以看出：(1)取水方面，近年来河南省各个利益相关者的需水满足程度较低，子和谐度较低，这是由于河南省地处平原地区，工业城市多，经济发展用水需求大，人口稠密对生活用水需求很高，同时河南省为全国粮食主要产区，农业用水量大，但

表3 近年河南省水资源与经济社会子和谐度及权重

| 指标                                   | 子和谐度  |       |       | 权重    |       |       |
|--------------------------------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
|                                      | 2005  | 2008  | 2011  | 2005  | 2008  | 2011  |
| 生活需水满足程度(B11)/%                      | 0.884 | 0.929 | 0.541 | 0.107 | 0.123 | 0.184 |
| 工业需水满足程度(B12)/%                      | 0.622 | 0.718 | 0.796 | 0.139 | 0.152 | 0.143 |
| 农业需水满足程度(B13)/%                      | 0.447 | 0.632 | 0.725 | 0.165 | 0.165 | 0.153 |
| 生态需水满足程度(B14)/%                      | 0.069 | 0.600 | 0.791 | 0.238 | 0.170 | 0.144 |
| 地表水控制利用率(B15)/%                      | 0.381 | 0.621 | 0.700 | 0.176 | 0.167 | 0.157 |
| 平原区浅层地下水开采率(B16)/%                   | 0.394 | 0.324 | 0.366 | 0.174 | 0.224 | 0.219 |
| 万元GDP用水量(B21)/(m <sup>3</sup> /万元)   | 0.686 | 0.856 | 0.932 | 0.255 | 0.228 | 0.238 |
| 万元工业增加值用水量(B22)/(m <sup>3</sup> /万元) | 0.673 | 0.830 | 0.905 | 0.258 | 0.234 | 0.244 |
| 工业用水重复利用率(B23)/%                     | 0.752 | 0.630 | 0.912 | 0.239 | 0.284 | 0.242 |
| 亩均灌溉用水量(B24)/(m <sup>3</sup> /亩)     | 0.715 | 0.740 | 0.780 | 0.248 | 0.255 | 0.276 |
| 城市污水处理率(B31)/%                       | 0.538 | 0.784 | 0.890 | 0.359 | 0.291 | 0.260 |
| 工业废水达标排放率(B32)/%                     | 0.676 | 0.795 | 0.852 | 0.317 | 0.288 | 0.270 |
| 评价河长达标率(B33)/%                       | 0.650 | 0.372 | 0.226 | 0.324 | 0.422 | 0.470 |

是省内地表水资源量有限，不能够满足各方的用水需求。同时由于城乡生活和工农业用水主要靠大量的开采地下水，造成地下水开发利用率很高，该指标的子和谐特别低；(2)用水方面，近年来各指标的子和谐度缓步增加，这与近年来经济发展迅速，科技进步较快，造成水资源利用效率缓步提高的实际情况相符；(3)排放方面，近年来城市污水处理率和工业废水达标率都得到了较大提高，但是生活和工业废水排放量逐年增高，造成全省范围内，水功能区达标率很低，评价河长达标率逐年下降。这个评价指标与河南省的实际情况相符，用来对河南省水资源与经济社会和谐状态进行评估是合适的。

**4.3 进行和谐调控后的和谐平衡计算** 通过以上计算可知，河南省最近几年水资源与经济社会处于一种中等水平的相对和谐平衡。这种平衡状态需要通过一定的努力，改善目前的不和谐指标，满足约束条件，提高和谐度，转移到一种较高水平的和谐平衡状态。这里先假定生活需水满足程度提高到95%，工业需水、农业需水、生态需水满足程度达到90%以上。此时的子和谐度如图2所示。

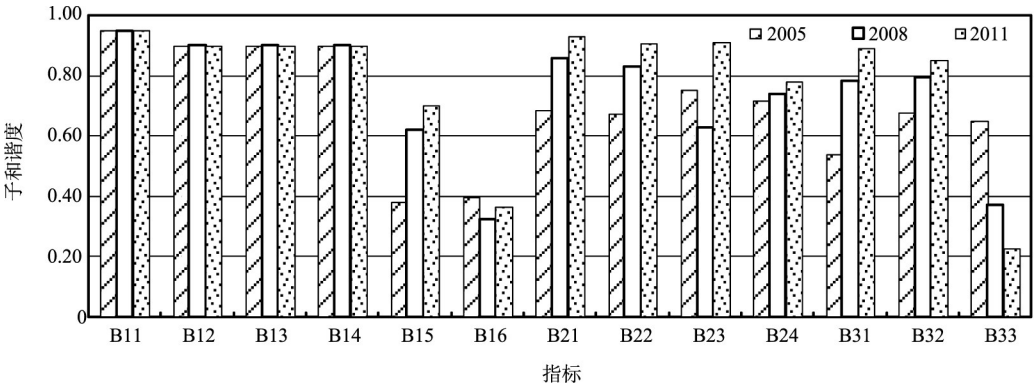


图2 利益相关者利益得到满足后各指标子和谐度

从图2可以看出，通过调整几个需水指标满足程度值，其指标子和谐度都达到了0.8以上，总和谐度也分别增加到0.66、0.69和0.73，但是和谐度仍然较低。假设河南省水资源与经济社会达到较高的和谐平衡状态，总和谐度需要达到0.8以上(即 $HD_0=0.8$ )，基于前文的分析，重点对具体年份子和谐度较低的几个指标进行调控，本文采用了和谐行为集优选的方法进行和谐平衡调控计算。以2008年为例，子和谐度较低的指标分别为地表水控制利用率(B15)、平原区浅层地下水开采率(B16)、工业用水重复利用率(B23)和评价河长达标率(B33)，针对这些指标进行调控，结果如表4所

示。同样的计算方法，可以得到 2005 年、2008 年和 2011 年的和谐平衡状态指标限值如表 5 所示。

表 4 2008 年河南省水资源与经济社会和谐平衡调控计算

| B15 | B16 | B23 | B33 | 和谐度   | B15 | B16 | B23 | B33 | 和谐度   | B15 | B16 | B23 | B33 | 和谐度   |
|-----|-----|-----|-----|-------|-----|-----|-----|-----|-------|-----|-----|-----|-----|-------|
| 30  | 50  | 70  | 30  | 0.719 | 40  | 50  | 70  | 30  | 0.724 | 50  | 50  | 70  | 30  | 0.729 |
|     |     |     | 85  | 0.749 |     |     |     | 85  | 0.755 |     |     |     | 85  | 0.760 |
|     |     |     | 50  | 0.758 |     |     |     | 50  | 0.764 |     |     |     | 50  | 0.769 |
|     |     |     | 30  | 0.728 |     |     |     | 30  | 0.733 |     |     |     | 30  | 0.738 |
|     |     |     | 90  | 0.758 |     |     |     | 90  | 0.764 |     |     |     | 90  | 0.769 |
|     |     |     | 50  | 0.767 |     |     |     | 50  | 0.773 |     |     |     | 50  | 0.778 |
|     |     | 40  | 30  | 0.743 |     |     | 40  | 30  | 0.750 |     |     | 40  | 30  | 0.755 |
|     |     |     | 85  | 0.773 |     |     |     | 85  | 0.780 |     |     |     | 85  | 0.786 |
|     |     |     | 50  | 0.782 |     |     |     | 50  | 0.789 |     |     |     | 50  | 0.794 |
|     |     |     | 30  | 0.752 |     |     |     | 30  | 0.759 |     |     |     | 30  | 0.764 |
|     |     |     | 90  | 0.782 |     |     |     | 90  | 0.789 |     |     |     | 90  | 0.795 |
|     |     |     | 50  | 0.791 |     |     |     | 50  | 0.798 |     |     |     | 50  | 0.803 |
|     | 40  | 40  | 30  | 0.748 |     | 40  | 40  | 30  | 0.754 |     | 40  | 40  | 30  | 0.760 |
|     |     |     | 85  | 0.778 |     |     |     | 85  | 0.785 |     |     |     | 85  | 0.791 |
|     |     |     | 50  | 0.787 |     |     |     | 50  | 0.794 |     |     |     | 50  | 0.800 |
|     |     |     | 30  | 0.757 |     |     |     | 30  | 0.764 |     |     |     | 30  | 0.769 |
|     |     |     | 90  | 0.787 |     |     |     | 90  | 0.794 |     |     |     | 90  | 0.800 |
|     |     |     | 50  | 0.796 |     |     |     | 50  | 0.803 |     |     |     | 50  | 0.809 |

表 5 和谐平衡状态指标限值范围

| 指标                      | 2005 | 2008 | 2011 |
|-------------------------|------|------|------|
| 地表水控制利用率(B15)/%         | 40   | 40   | 40   |
| 平原区浅层地下水开采率(B16)/%      | 40   | 40   | 50   |
| 万元 GDP 用水量(B21)/(m³/万元) | 100  |      |      |
| 万元工业增加值用水量(B22)/(m³/万元) | 50   |      |      |
| 工业用水重复利用率(B23)/%        |      | 90   |      |
| 亩均灌溉用水量(B24)/(m³/亩)     |      |      |      |
| 城市污水处理率(B31)/%          | 80   |      |      |
| 工业废水达标排放率(B32)/%        |      |      |      |
| 评价河长达标率(B33)/%          |      | 50   | 32   |

表 5 的计算结果表明，各年达到和谐平衡状态，需要进行多指标的综合调控，并且随着社会发展和科技进步，需要调整的指标逐步减少。如 2005 年需要对至少 5 个指标进行综合调控，随着水资源利用效率的提高，万元 GDP 用水量由 2005 年的 187 m³ 降低到 2011 年的 64 m³，万元工业增加值用水量由 2005 年的 88 m³ 降低到 2011 年的 39 m³，城市污水处理率由 2005 年的 46 % 增加到 2011 年的 89 %。这 3 个指标的子和谐度都大幅提升，在当前的技术水平条件下，对其进行进一步调控比较困难。但是评价河长达标率由 2005 年的较好值 47.5 % 降低到 2011 年的较差值 21 %，子和谐度也相应大幅降低，可以作为调控指标，因此到了 2011 年，只需要调整 3 个指标。并且多年来子和谐度一直比较低的指标是今后需要重点关注的指标，如地表水控制利用率、平原区浅层地下水开采率和评价河长达标率。经过指标调整，可以将总和谐度提升至  $HD_0$ ，计算结果见图 3。

从图 3 可以看出，在这 3 年分别达到预期的和谐平衡状态时，各指标的子和谐度均得到了提升，但还是有一定差别的，这也说明了和谐平衡状态随着时间变化而变化相对平衡的特征。同时，个别指标还有较大的提升空间，可以达到更高水平的和谐平衡状态。

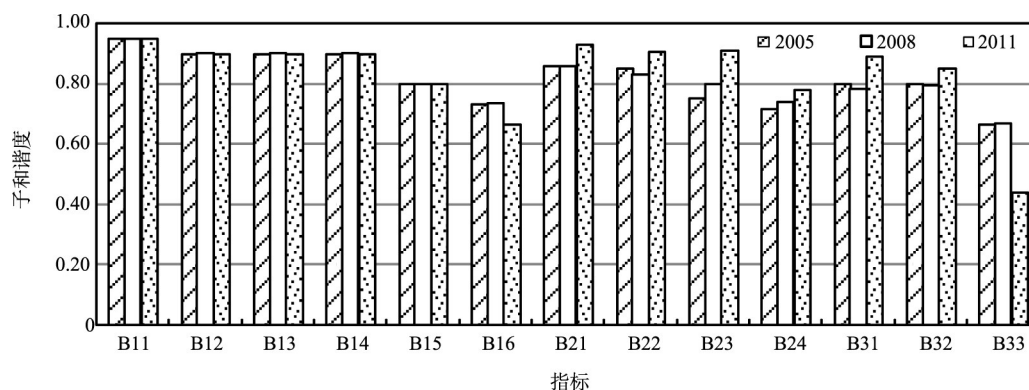


图3 和谐调控前后各指标子和谐度变化

## 5 结语

本文对经济社会发展与水资源保护之间平衡的重要意义进行深入分析,基于和谐论理念,提出了水资源与经济社会和谐平衡的概念和内涵,并构建了和谐平衡计算模型。将该模型应用于河南省水资源与经济社会和谐平衡状态的计算,根据计算结果,提出了河南省达到和谐平衡需要调整的指标和数值,为河南省水资源合理配置和水资源管理提供参考依据。从河南省应用结果分析中可以看出,本文构建的和谐平衡计算模型是可行的,并且和谐平衡是某一时段,某种特定条件下的平衡,随着科技进步和社会发展,和谐平衡状态将会发生转移。本文仅仅是基于前期研究成果最新提出的一套理念和计算方法,还有待进一步理论分析和实践检验。

## 参 考 文 献:

- [ 1 ] 左其亭, 窦明, 马军霞. 水资源学教程[M]. 北京: 中国水利水电出版社, 2008.
- [ 2 ] Yang B, Zhiyun O Y, Hua Z, et al. Modeling soil conservation, water conservation and their tradeoffs: A case study in Beijing[J]. Journal of Environmental Sciences, 2012, 24(3): 419-426.
- [ 3 ] Cai X M, Mark W. Rosegrant. Optional water development strategies for the Yellow River Basin: balancing agricultural and ecological water demands[J]. Water Resources Research 40: W08S04.
- [ 4 ] Seedang S, Norris P E, Batie S S, et al. Exploring market-based environmental policy for groundwater management and ecosystem protection for the Great Lakes region: Lessons learned[J]. Journal of Great Lake Research, 2013, 39(3): 484-492.
- [ 5 ] Onishi A, Imura H, Han J, et al. Socio-economic activities and the balance between water resource supply and demand in the Yellow River basin, China[C]. JAHS Red Book, Italy, 2007.
- [ 6 ] 陆文聪, 覃琼霞. 以节水和水资源优化配置为目标的水权交易机制设计[J]. 水利学报, 2012, 43(3): 323-332.
- [ 7 ] 曹永强, 伊吉美, 邢晓森, 等. 辽宁省水资源利用与社会经济的协调发展量化分析[J]. 水利发电学报, 2010, 29(1): 80-84.
- [ 8 ] Zhang X L, Huang K, Zou R, et al. A risk explicit interval linear programming model for uncertainty-based environmental economic optimization in the lake Fuxian Watershed, China[J]. Scientific World Journal, 2013, ID 824078, DOI: 10.1155/2013/824078.
- [ 9 ] Wang X J, He C H, Zhang L, et al. Regional protection and development as an exchange model: to create a balance between eco-protection and poverty-elimination in eco-protected areas[J]. Transit. Stud. Rev., 2010 (17): 374-385.
- [ 10 ] 左其亭. 和谐论: 理论·方法·应用[M]. 北京: 科学出版社, 2012.
- [ 11 ] 左其亭, 王丽, 高军省. 资源节约性社会评价: 指标·方法·应用[M]. 北京: 科学出版社, 2009.
- [ 12 ] 左其亭, 张云, 林平. 人水和谐评价指标及量化方法研究[J]. 水利学报, 2008, 39(4): 440-447.

(下转第 800 页)

**Study on harmony equilibrium between water resources  
and economic society development**

ZUO Qi-ting, ZHAO Heng, MA Jun-xia

(Center for Water Science Research, Zhengzhou University, Zhengzhou 450001, China)

**Abstract:** Water resources is an important foundation which support sustainable development of economic society, meanwhile economic society is a significant subject for water resources protection. Both of them are mutually reinforcing, and thus they should maintain harmonious. However, in many cases, there exists contradictions, so how to achieve a kind of equilibrium between them is a difficult problem. In order to solve this problem, this paper elaborates the significance of the equilibrium between water resources protection and development of economic society from the viewpoint of harmony theory. On this basis, it expounds the concept and connotation of harmony equilibrium, defined which as the relatively static and acceptable balance condition when stakeholders take their interests and the overall harmony goal into account. Furthermore, the general steps and calculation methods have been established to achieve equilibrium based on harmony theory. Finally the harmony equilibrium model was applied to Henan province to determine its harmony equilibrium condition between water resources protection and economic society development.

**Key words:** harmony equilibrium; harmony theory; economic society development; water resources protection

(责任编辑: 王成丽)